

УДК 631.841

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ФОСФАТА КАРБАМИДА

Ю.И. ВЕЦНЕР^{1*}

¹ Отдел снабжения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, УКРАИНА

*email: vetsner7@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье рассмотрено получение азотно-фосфорного удобрения (фосфат карбамида) из карбамида и ортофосфорных кислот различной чистоты. Определены особенности растворения карбамида в ортофосфорной кислоте и кристаллизации фосфата карбамида в зависимости от концентрации ортофосфорной кислоты. Представлены рентгенограммы и дериватограммы полученных образцов фосфата карбамида ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$). Показана зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса. Установлена оптимальная концентрация ортофосфорной кислоты для получения фосфата карбамида.

Ключевые слова: удобрения; карбамид; ортофосфорная кислота; фосфат карбамида; кристаллизация.

RESEARCH OF THE PROCESS OF OBTAINING CARBAMIDE PHOSPHATE

Yu. VETSNER^{1*}

¹ Supply department, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute" (NTU "KhPI"), Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of the article is to study the process of obtaining fertilizer in the systems urea-orthophosphoric acid-water. A typical example of such a fertilizer can be carbamide phosphate. In connection with this, it is of interest to obtain urea phosphates depending on the concentration of orthophosphoric acid. The following methods were used in the studies: X-ray phase analysis, visual-polythermal, differential-thermal analysis. As a result of the studies, the characteristics of carbamide dissolution in orthophosphoric acid and the crystallization of carbamide phosphate were determined depending on the concentration of orthophosphoric acid, X-ray diffraction patterns and thermograms of carbamide phosphates were obtained. The general procedure for the preparation of urea phosphate from orthophosphoric acid and urea. As a result, a solid fraction was obtained - crystals of carbamide phosphate. X-ray analysis showed that the composition of carbamide phosphate obtained from orthophosphoric acid (analytically pure) is identical to the composition of carbamide phosphate obtained from orthophosphoric acid (commercially pure). Differential thermal analysis (thermographic studies) showed that the endothermic effect for orthophosphoric acid (analytically pure) and orthophosphoric acid (commercially pure), respectively, at 110 °C and 115.1 °C, characterizes the fusion of carbamide phosphate followed by the formation of ammonium pyro- and metaphosphate. It was established that irrespective of the purity of the phosphoric acid used, the product of the interaction is carbamide phosphate. The optimal concentration of phosphoric acid (CH_3PO_4) for the production of carbamide phosphate is 80 %. Since at this concentration the loss of moisture is faster than with $\text{CH}_3\text{PO}_4 = 86\%$, and the yield of the product is almost the same, while at phosphoric acid concentrations of 75 and 60 %, the yield of the product is much lower.

Keywords: fertilizer; urea; orthophosphoric acid; carbamide phosphate; crystallization.

Введение

Использование минеральных удобрений - один из главных критериев повышения урожайности в сельском хозяйстве. Особое значение имеют комплексные удобрения, которые содержат как азот так и фосфор [1 - 5].

Для обеспечения сельского хозяйства комплексными удобрениями перспективными являются технологии, базирующиеся на использовании фосфоросодержащего сырья, которое находится в Украине. Особый практический интерес представляет использование карбамида из-за его способности образовывать комплексные удобрения практически со всеми неорганическими кислотами и солями. Это способствует получению комплексных удобрений, с различными формами питательных веществ, которые медленно разлагаются под действием грунтовых растворов или воды, что

приводит к переходу закрепленных в почве форм фосфатов в усваиваемые [6].

Изучение взаимодействия карбамида с различными солями и кислотами имеет как теоретическое, так и прикладное значение в связи с получением сложных удобрений.

Карбамид - наиболее богатое азотом удобрение; он содержит 46,6 % азота в легко усвояемой форме. Обладает способностью образовывать кристаллические соединения-включения как с органическими так и неорганическими соединениями. Структуры всех соединений включения мочевины идентичны и представляют собой гексагональные бесконечные призмы, внутри которых имеются каналы полости, где и размещаются молекулы - «гости». В отсутствие молекул - гостей мочевины кристаллизуется в тетрагональной решетке. Соединения включения карбамида весьма устойчивы, что связано, с одной

стороны, со стабилизацией канальной структуры водородными связями, а с другой – с заполнением каналов и максимальной реализацией ван-дер-ваальсовского взаимодействия. С кислотами мочевины образует в процессе гидролиза легко диссоциирующие кристаллические солеобразные соединения, имеющие кислую реакцию [7].

Цель работы

Целью статьи является изучение процесса получения удобрения в системах карбамид - ортофосфорная кислота - вода. Характерным примером такого удобрения может служить фосфат карбамида $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$.

В связи с этим представляет интерес получение фосфатов карбамида в зависимости от концентрации ортофосфорной кислоты. При исследованиях применялись следующие методы: рентгенофазовый анализ и дифференциально-термический.

Изложение основного материала

Исследования проводились с использованием реактивов марки ч.д.а ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и H_3PO_4) и тех. (H_3PO_4).

Состав и свойства исходных реагентов представлены в таблицах 1 (карбамид) [8] и 2 (ортофосфорная кислота).

В результате исследований были определены особенности растворения карбамида в ортофосфорной кислоте и кристаллизации фосфата карбамида в зависимости от концентрации ортофосфорной кислоты, получены рентгенограммы и термограммы фосфатов карбамида.

Кинетические зависимости изменения массы конечного продукта от времени взаимодействия карбамида с ортофосфорной кислотой, представленные в таблицах 3 - 6.

Таблица 1 - ГОСТ 2081 – 2010. Карбамид. Технические условия

Наименование показателя	Марка Б		
	Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт
1. Внешний вид	Гранулы или кристаллы белого цвета или слегка окрашенные		
2. Массовая доля азота в пересчете на сухое вещество, %, н/м	46,2	46,2	46,2
3. Массовая доля биурета, %, н/б	1,4	1,4	1,4
4. Массовая доля воды, %, н/б			
гигроскопическая	0,3	0,3	0,3
общая	0,5	0,5	0,6
5. Рассыпчатость, %	100	100	100
6. Гранулометрический состав: массовая доля гранул размером, мм:			
от 1 до 4, н/м	94	94	94
от 2 до 4, н/м	70	50	–
менее 1, н/б	3	5	5
остаток на сите 6 мм	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
7. Статическая прочность гранул, МПа (кг/см ²), н/м	1,4 (14)	1,2 (12)	1,2 (12)

Таблица 2 - Ортофосфорная кислота, использованная в данной работе

№ п/п	Концентрация H_3PO_4	Общее содержание P_2O_5 (вес %)	R ($\text{H}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5$)	pH
1	86	61,8	0,23	1,57
2	80	58,0	0,35	1,64
3	75	54,3	0,46	1,71
4	60	43,5	0,92	1,89

Общая методика приготовления фосфата карбамида заключалась в следующем: к растворам ортофосфорной кислоты, концентрацией 60 – 86 %, медленно добавляли кристаллический карбамид. Затем при температуре, равной 25-55 °C, проводилось перемешивание смеси при $\tau = 0-30$ мин.

Далее горячий раствор фильтровали с помощью воронки Бюхнера. Полученный фильтрат охлаждали до 0 °C и снова отправляли на фильтрование с помощью воронки Бюхнера. В результате получали твердую фракцию – кристаллы фосфата карбамида ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$).

Таблица 3 - Зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса при $\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ 86 %

Время взаимодействия, мин	Масса фосфата карбамида, г		
	25 °C	40 °C	55 °C
0	129,96	129,92	129,84
5	129,76	129,37	128,90
10	129,74	128,62	127,90
15	129,65	128,16	127,13
20	129,62	127,83	126,61
25	129,54	127,59	125,87
30	129,53	127,30	125,20

Таблица 4 - Зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса при $\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ 80 %

Время взаимодействия, мин	Масса фосфата карбамида, г		
	25 °C	40 °C	55 °C
0	121,72	121,63	121,52
5	121,55	120,94	120,68
10	121,54	120,39	119,57
15	121,16	119,88	118,64
20	120,90	119,52	117,70
25	120,74	119,13	116,48
30	120,58	118,76	115,82

Таблица 5 - Зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса при $\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ 75 %

Время взаимодействия, мин	Масса фосфата карбамида, г		
	25 °C	40 °C	55 °C
0	115,15	115,02	114,86
5	114,82	114,21	113,79
10	114,66	113,90	112,85
15	114,45	113,49	111,89
20	114,33	113,10	111,02
25	114,10	112,65	110,31
30	113,99	112,24	109,40

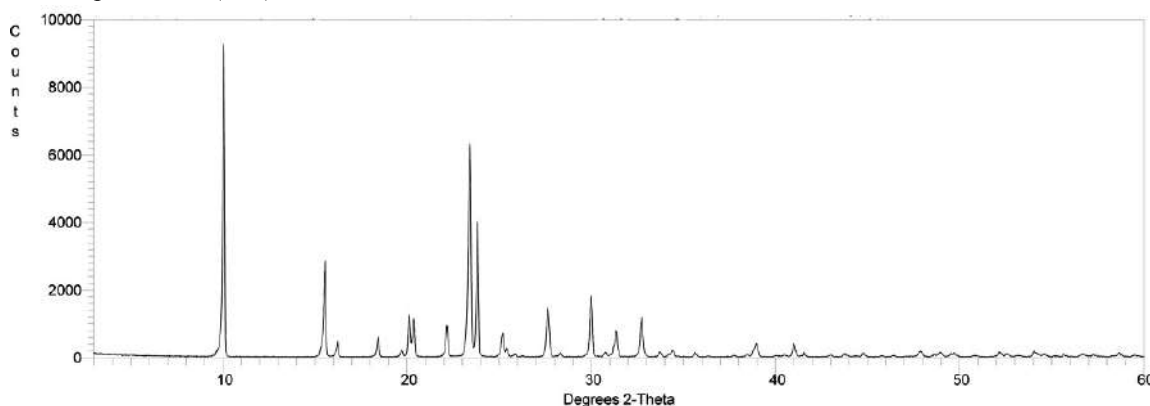
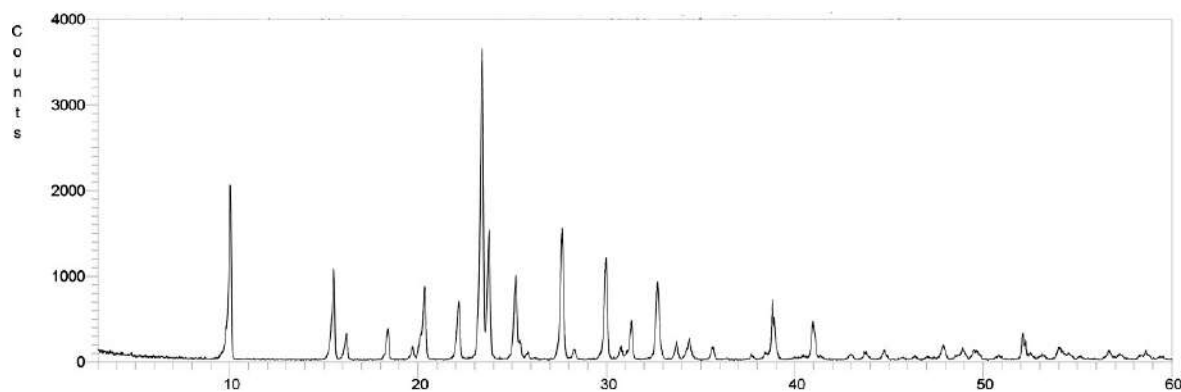
Таблица 6 - Зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса при $C_{H_3PO_4}$ 60 %

Время взаимодействия, мин	Масса фосфата карбамида, г		
	25 °C	40 °C	55 °C
0	97,53	97,21	96,31
5	97,08	96,61	95,60
10	96,80	96,17	94,73
15	96,62	95,72	93,78
20	96,44	95,35	92,75
25	96,26	94,88	91,88
30	96,07	94,44	90,93

Полученные образцы фосфата карбамида были подвергнуты рентгенографическому и термогравиметрическому анализу, в результате чего был установлен состав и механизм разложения фосфата карбамида, что полностью совпало с литературными данным. С целью сравнения были сделаны образцы фосфата карбамида из ортофосфорной кислоты, загрязненной примесями (тех.).

Рентгенограмма фосфата карбамида представлена на рис. 1 (H_3PO_4 ч.д.а.) и рис. 2 (H_3PO_4 тех.).

Термограммы фосфата карбамида представлены на рис. 3 (H_3PO_4 ч.д.а.) и рис. 4 (H_3PO_4 тех.).

Рис. 1 – Рентгенограмма фосфата карбамида из H_3PO_4 ч.д.а.Рис. 2 – Рентгенограмма фосфата карбамида из H_3PO_4 тех.

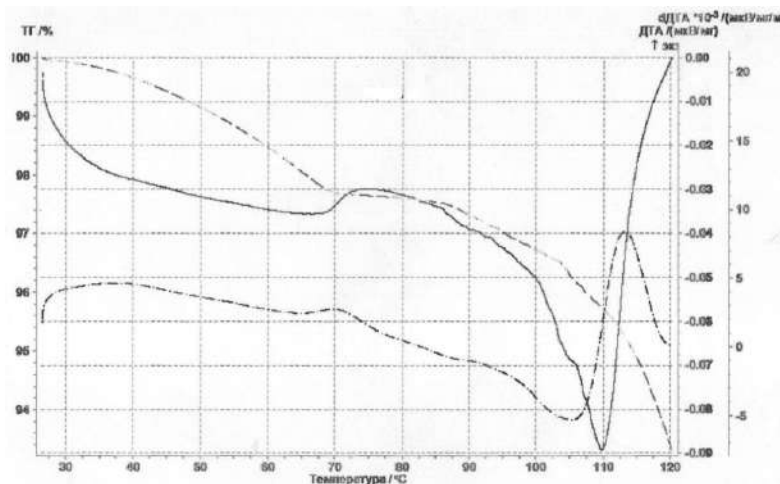


Рис. 3 – Фосфат карбамида, полученный с применением H_3PO_4 ч.д.а.

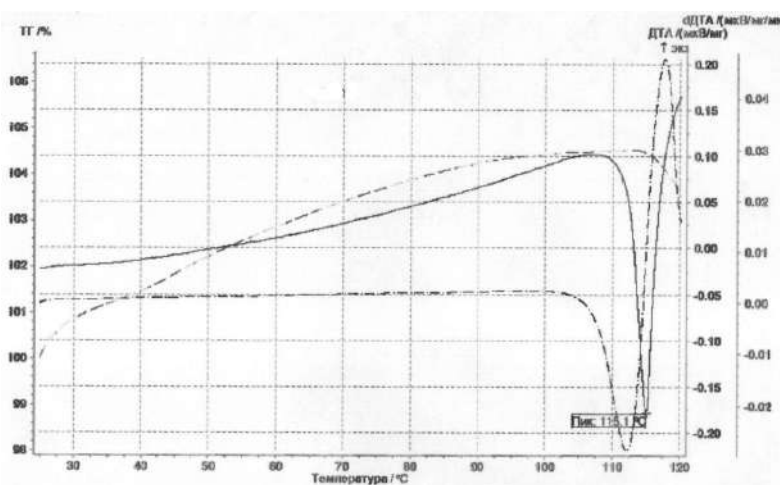


Рис. 4 – Фосфат карбамида, полученный с применением H_3PO_4 тех.

Обсуждение результатов

При выполнении исследований дифрактограммы исследуемых образцов получены на рентгеновском дифрактометре «Siemens D500» по схеме Брегга-Брентано в интервале углов $2^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ (излучение $\text{CuK}\alpha$, графитовый моно-хроматор на вторичном пучке, сканирование с шагом $0,02$ град, время накопления 20 сек. в каждой точке, горизонтальная разбежность первичного пучка 1 град, приемная щель $0,1$ град). Расчет рентгенограмм сделан с помощью программы WinPLOT и FullProf с использованием функции Фойгта для описания профиля [9 - 13].

Анализ показал, что состав фосфата карбамида, полученного из ортофосфорной кислоты (ч.д.а) идентичен составу фосфата карбамида, полученного из ортофосфорной кислоты (тех).

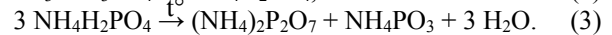
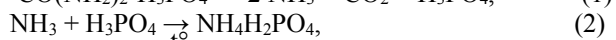
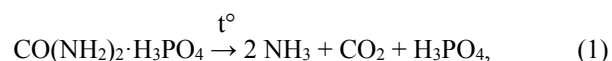
Дифференциальный термический анализ (термографические исследования) проводили на дериватографе P. Paulik, I.

Paulik, L. Erdely фирмы MOM (Венгрия). Прибор на дериватограммах автоматически фиксирует одновременно: температуру печи, скорость

измерения температуры (ДТА), изменение массы образца (ТГ) и скорость изменения массы вещества (ДТГ). Погрешность изменения массы образца в процессе нагревания $\pm 0,5\%$. Исследования проводили в диапазоне температур $0 \div 120^\circ\text{C}$ [14].

Из литературных источников [15] известно, что температура плавления фосфата карбамида равна $117,5^\circ\text{C}$. При этом разложение начинается уже при температуре ниже указанной, а для полного разложения требуется несколько часов.

Из сопоставления термограмм на рис. 3 и рис. 4 следует, что эндотермический эффект при 110°C и $115,1^\circ\text{C}$, соответственно, характеризует плавление фосфат карбамида с последующим образованием пиро- и метафосфата аммония по следующим реакциям:



Согласно данным таблиц 3–6 вычислена скорость изменения массы фосфата карбамида (Δm). Результаты представлены в табл. 7.

Таблиця 7 – Скорость изменения массы фосфата карбамида

СНЗРО ₄ , %	Δm		
	25 °C	40 °C	55 °C
86	0,43	2,62	4,64
80	1,14	2,87	5,70
75	1,16	2,78	5,46
60	1,46	2,77	5,38

Из приведенных в табл. 7 данных следует, что скорость изменения массы фосфата карбамида (Δm) при 25 °C увеличивается с уменьшением концентрации фосфорной кислоты, в то время как при 40 и 55 °C наблюдается увеличение Δm лишь для концентраций фосфорной кислоты с 86 % до 80 %, а затем Δm уменьшается с уменьшением концентрации Н₃РО₄. Проанализировав данные табл. 7 можно сделать вывод, что наибольшая скорость изменения массы фосфата карбамида (Δm) наблюдается в образце, полученном из фосфорной кислоты, концентрацией 80 %.

Выводы

Методами рентгенофазового и термогравиметрического анализа твердых фаз, полученных в системе 3H^+ , $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ // $\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$, установлено, что независимо от чистоты используемой фосфорной кислоты, продуктом взаимодействия является фосфат карбамида ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$).

Разложение фосфата карбамида представляет собой многостадийный процесс, конечными продуктами которого являются пиро- и метафосфат аммония.

Оптимальной концентрацией фосфорной кислоты (СНЗРО₄) для производства фосфата карбамида является 80 %. Поскольку при данной концентрации потеря влаги происходит быстрее, чем при СНЗРО₄ = 86 %, а выход продукта практически одинаковый, в то время как при концентрациях фосфорной кислоты 75 и 60 % выход продукта значительно меньше.

Список литературы

1. Вецнер, Ю. І. Визначення кінетичних параметрів для низькосортної фосфатної сировини України / Ю. І. Вецнер, А. С. Савенков, І. С. Білогур, І. М. Рищенко // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. - 2015. - № 4/2015 (93). - С. 148 - 154.
2. Vetsner, Yu. I. New ways of receipt NP-fertilizers from low-grade phosphates of Ukraine / Yu. I. Vetsner, A. S. Savenkov, I. S. Belogur // Международный научно-исследовательский журнал. - 2014. - №3(22). - Ч.2. - 12 - 13.
3. Blanchet, G. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system / G. Blanchet, K. Gavazov, L.

- Bragazza, S. Sinaj // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. - 2016. - Vol. 230. - P. 116-126.
4. Khan, N. M. Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater / M. N. Khan, M. Mobin, Z. K. Abbas, S. A. Alamri // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. - 2017. - doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09888-2.
5. Scherer, H. W. fertilizers and fertilization / H. W. Scherer // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Encyclopedia of Soils in the Environment*. - 2005. - P. 20-26. - doi:10.1016/B0-12-348530-4/00229-0.
6. Вецнер, Ю. І. Технологія NPCa-добрих з використанням карбаміду та фосфоритів з низьким вмістом фосфору (V) оксиду: дис. на здобуття вченого ступеня кандидата техн. наук: 05.17.01 / Вецнер Ю. І. - Х., 2015. - 165 с.
7. Korrapati, M. C. Urea / M. C. Korrapati, H. M. Mehendale // *Reference Module in Biomedical Sciences*. - 2014. - № 3. - P. 885 - 888. - doi: 10.1016/B978-0-12-386454-3.00357-2.
8. ГОСТ 2081 - 2010. Карбамид. Технические условия.
9. Українець, І. В. Кристалічне строєння 2- оксо-4-(1-фенілетіламіно)-1,2-дигідрохінолін-3-карбонових кислот як фактор, що визначає їх анальгетичну активність / І. В. Українець, Е. В. Моспанова, В. Н. Баумер // Журнал органічної та фармацевтичної хімії. - 2012. - Т. 10. - Вип. 1 (37). - С. 66-71.
10. Баумер, В. Н. Рентгендіфракційні методи дослідження біологічних активних сполук / В. Н. Баумер, О. В. Шишкін // Аналітична хімія в створенні, стандартизації та контролі якості лікарських засобів: Харків, "НТМТ". - 2011. - Т.1. - С. 403-426.
11. Voloshyna, O. V. New, dense, and fast scintillators based on rare-earth tantalum-niobates / O. V. Voloshyna, I. A. Boiaryntseva, V. N. Baumer, A. I. Ivanov, M. V. Korjik, O. Ts. Sidletskiy // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. - 2014. - Vol. 764. - P. 227-231. - doi:10.1016/j.nima.2014.07.044.
12. Baum, M. X-Ray Reflectivity analysis of SiO₂ nanochannels filled with water and ions: a new method for the determination of the spatial distribution of ions inside confined media / M. Baum, D. Rébiscoul, S. Tardif, N. Tas, L. Mercury, F. Rieutord // *Procedia Earth and Planetary Science*. - 2017. - Vol. 17. - P. 682 - 685. - doi: 10.1016/j.proeps.2016.12.146.
13. Johnson, T. F. X-ray computed tomography of packed bed chromatography columns for three dimensional imaging and analysis / T. F. Johnson, P. R. Levison, P. R. Shearing, D. G. Bracewell // *Journal of Chromatography A*. - 2017. - V. 1487. - P. 108-115. - doi: 10.1016/j.chroma.2017.01.013.
14. Lesnych, N. Dicht oder undicht? Tomografische Analytik von Injektionsmittel-Horizontalabdichtungen an verschiedenen Objekten / N. Lesnych, E. Fedorenko, L. Koss, M. Ryshchenko, L. Shchukina, H. Venzmer // *Abdichten im Holz-und Bautenschutz: Normen, Regeln und Entwicklungen*. - 2011. - P. 29 - 54.
15. Harrison, R. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions / R. Harrison, J. Webb // *Advances in Agronomy*. - 2001. - Vol. 73. - P. 65-108. - doi: 10.1016/S0065-2113(01)73005-2.

Bibliography (transliterated)

1. Vetsner, Yu. I., Savenkov, A. S., Bilohur, I. S., Ryshchenko, I. M. Vyznachennya kinetychnykh parametriv dlya nyz'kosortnoyi fosfatnoyi syrovyny Ukrainy. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho*, 2015, 4/2015 (93), 148 - 154.
2. Vetsner, Yu. I., Savenkov, A. S., Belogur, I. S. New ways of receipt NP-fertilizers from low-grade phosphates of Ukraine. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2014, № 3 (22), Chast' 2, 12 – 13.
3. Blanchet, G., Gavazov, K., Bragazza, L., Sinaj S. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, **230**, 116-126.
4. Khan, N. M., Mobin, M., Abbas, Z. K., Alamri, S. A. Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09888-2.
5. Scherer, H. W. fertilizers and fertilization. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Encyclopedia of Soils in the Environment*, 2005, 20-26, doi: 10.1016/B0-12-348530-4/00229-0.
6. Vetsner, Yu. I. Tekhnolohiya NPCa-dobryv z vykorystannyam karbamidu ta fosforytiv z nyz'kym vmistom fosforu (V) oksydu: dys. na zdobuttya vchenoho stupinya kandydata tekhn. nauk: 05.17.01 / Vetsner Yu. I., KH., 2015, 165 p.
7. Korrapati, M. C., Mehendale, H. M. Urea. *Reference Module in Biomedical Sciences*, 2014, № 3, 885 – 888, doi: 10.1016/B978-0-12-386454-3.00357-2.
8. GOST 2081 - 2010. Karbamid. Tekhnicheskiye usloviya.
9. Ukrainets, I. V., Mospanova, Ye. V., Baumer, V. N. Kristallicheskiye stroyeniye 2-okso-4-(1-feniletilamino)-1,2-digidrokhinolin-3-karbonovykh kislot kak faktor, opredelyayushchiy ikh anal'geticheskuyu aktivnost'. *Zhurnal orhanichnoyi ta farmatsevtichnoyi khimiyi*, 2012, **10**, 1 (37), 66-71.
10. Baumer, V. N., Shishkin, O. V. Rentgendifraktsionnyye metody issledovaniya biologicheskii aktivnykh soyedineniy. *Analiticheskaya khimiya v sozdanii, standartizatsii i kontrole kachestva lekarstvennykh sredstv*: Khar'kov, "NTMT", 2011, 1, 403-426.
11. Voloshyna, O. V., Boiaryntseva, I. A., Baumer, V. N., Ivanov, A. I., Korjik, M. V., Sidletskiy, O. Ts. New, dense, and fast scintillators based on rare-earth tantaloniobates. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2014, **764**, 227-231, doi:10.1016/j.nima.2014.07.044.
12. Baum, M., Rébiscoul, D., Tardif, S., Tas, N., Mercury, L., Rieutord, F. X-Ray Reflectivity analysis of SiO₂ nanochannels filled with water and ions: a new method for the determination of the spatial distribution of ions inside confined media. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2017, **17**, 682 – 685, doi: 10.1016/j.proeps.2016.12.146.
13. Johnson, T. F., Levison, P. R., Shearing, P. R., Bracewell, D. G. X-ray computed tomography of packed bed chromatography columns for three dimensional imaging and analysis. *Journal of Chromatography A*, 2017, **1487**, 108–115, doi: 10.1016/j.chroma.2017.01.013.
14. Lesnych, N., Fedorenko, E., Koss, L., Ryshchenko, M., Shchukina, L., Venzmer H. Dicht oder undicht? Tomografische Analytik von Injektionsmittel-Horizontalabdichtungen an verschiedenen Objekten. *Abdichten im Holz-und Bautenschutz: Normen, Regeln und Entwicklungen*, 2011, 29 – 54.
15. Harrison, R., Webb, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. *Advances in Agronomy*, 2001, **73**, 65-108, doi: 10.1016/S0065-2113(01)73005-2.

Сведения об авторах (About authors)

Вецнер Юлана Игоревна – кандидат технических наук, инженер 1-ой категории отдела снабжения; Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: vetsner7@gmail.com.

Yulana Vetsner – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Engineer of the 1st category of the supply department; National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: vetsner7@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Вецнер, Ю. И. Исследование процесса получения фосфата карбамида / **Ю. И. Вецнер** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 137-143. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.22.

Please cite this article as:

Vetsner, Yu. Research of the process of obtaining carbamide phosphate. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 137–143, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.22.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Вецнер, Ю. І. Дослідження процесу отримання фосфату карбаміду / **Ю. І. Вецнер** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». - 2017. - № 23(1245). - С.137-143. - doi:10.20998/2413-295.2017.23.22.
АНОТАЦІЯ У статті розглянуто отримання азотно-фосфорного добрива (фосфат карбаміду) з карбаміду та ортофосфорної кислоти різної чистоти. Визначено особливості розчинення карбаміду в ортофосфорній кислоті та кристалізації фосфату карбаміду в залежності від концентрації ортофосфорної кислоти. Представлені рентгенограми та дериватограми отриманих зразків фосфату карбаміду (CO(NH₂)₂-H₃PO₄). Показана залежність зміни маси фосфату карбаміду від часу взаємодії і температури процесу. Встановлено оптимальну концентрацію ортофосфорної кислоти для отримання фосфату карбаміду.

Ключові слова: добрива; карбамід; ортофосфатна кислота; фосфат карбаміду; кристалізація.

Поступила (received) 31.05.2017